

ПРИМЕНЕНИЕ ФИБРОБЕТОНА НА ОСНОВЕ СТАЛЬНЫХ И ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН В СЛОИСТЫХ ПЛИТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Б. Садовска-Бурачевска¹

¹ Факультет строительства и наук об окружающей среде «Политехника Бялостоцка», Бялосток, Польша
barbara.sadowska@pb.edu.pl

Реферат

В статье представлен экспериментальный анализ конструкционных бетонных плит, изготовленных в виде композитных элементов, состоящих из двух бетонных слоев, изготовленных из обычного железобетона (N) и фибробетона (FRC) или бетона с полипропиленовыми волокнами (PRC). Железобетонные композитные плиты, использованные в испытаниях, имели размеры 600 x 1200 x 80 мм. Основа состояла из двух слоев, состоящих из FRC (или PRC), как верхнего слоя, и обычного бетона. Результаты анализа подтверждают значительное улучшение конструктивных свойств композитной плиты по сравнению с плитами, изготовленными только из обычного бетона.

Ключевые слова: композитные плиты, FRC, бетон с полипропиленовыми волокнами, прогибы.

APPLICATION OF FIBER REINFORCED CONCRETE BASED ON STEEL AND POLYPROPYLENE FIBERS IN LAMINATED PLATE ELEMENTS

B. Sadovska-Burachevska

Abstract

The paper presents an experimental analysis of structural concrete slabs prepared as composite members consisting of two concrete layers made of reinforced ordinary concrete (N) and fiber reinforced concrete (FRC) or concrete with polypropylenes fibres (PRC). The reinforced concrete composite slabs used in the tests were prepared dimensions of 600 x 1200 x 80 mm. The basic was composed in two layers consisting of FRC (or PRC), as the top layer, and ordinary concrete. The results of the analysis confirm a significant improvement of structural properties of composite slab in comparison to the slabs prepared totally of ordinary concrete.

Keywords: composite slabs, FRC, concrete with polypropylenes fibres, deflections.

Введение

Многие ученые занимались модификацией бетона на протяжении сотен лет. В 1960 году в Японии был создан один из первых специальных Комитетов, предназначенных для детального изучения свойств фибробетона.

Фибробетон имеет высокую механическую стойкость к истиранию, прочность на сжатие и растяжение при изгибе, морозостойкость и ударопрочность. Благодаря вышеупомянутым факторам фибробетон нашел широкое применение в строительстве [1–7].

Бетоны нового поколения являются широко распространенным предметом экспериментальных исследований [8], в то время как сопротивление контактов этих бетонов с обычным бетоном в сборно-монолитных элементах конструкции является проблемой, которая представляется менее изученной [9], особенно когда различия в прочности и деформативности бетонов значительны. В данной статье представлены результаты испытаний, проведенных для изучения эффекта совместной работы фибробетонного слоя, приготовленного с применением стального и полипропиленового волокна с ранее изготовленной сборной конструкцией из обычного бетона. Применение фибробетона было обусловлено планируемым улучшением характеристик сопротивления изгибу композитных (сборно-монолитных) элементов плиты по сравнению с элементами плиты, изготовленными полностью из обычного бетона.

1. Сборно-монолитные (композитные) железобетонные конструкции

В практике проектирования инженеры довольно часто используют одно из самых инновационных конструктивных решений – сборно-монолитные или композитные конструкции. Это конструкции изготавливают, как правило, из двух материалов, отличающихся свойствами. Наиболее распространенным типом соединения является железобетон, в то время как композитными конструкциями также являются элементы типа дерево-бетон и стальная конструкция-бетон. Комбинация двух материалов используется при строительстве таких элементов конструкций, как плиты, колонны, балки.

Наиболее распространенным типом составных (композитных) конструкций является сталебетон – бетон, представляющий собой комбинацию стального прокатного профиля или гофрированного листа (профнастила) и слоя из монолитного бетона, укладываемого в условиях строительной площадки (рис. 1). Так могут быть изготовлены плиты, колонны, конструкции перекрытий и покрытий. Бетон, улучшая работу стали в сжатой зоне сечения, в некоторой степени защищает ее от коррозии и пожара. Стальные элементы могут рассматриваться как внешнее армирование или оставляемая опалубка. Важным аспектом является защита композитного элемента от расслоения по поверхности контакта, так как под действием нагрузок каждый слой будет работать отдельно. Это может привести к развитию чрезмерных деформаций составного элемента, а затем и к его разрушению. Железобетонные композитные конструкции характеризуются относительно небольшим весом, что упрощает их выполнение и ускоряет время возведения. Одним из современных решений является использование фибробетона в сборно-монолитных (композитных) перекрытиях. Подобные конструктивные решения, кроме того, позволяют создавать сталебетонные конструкции перекрытий, устойчивые к сейсмическим воздействиям.

Железобетонные сборно-монолитные (композитные) конструкции также довольно широко используются в строительстве. Примером является ребристое перекрытие с монолитной плитой, работающей в одном направлении (рис. 2). Конструкция такого перекрытия состоит из несущих железобетонных или предварительно напряженных сорных балок и пустотелых блоков заполнения. Плита перекрытия формируется путем заполнения монолитным бетоном пространства между соседними блоками [9].

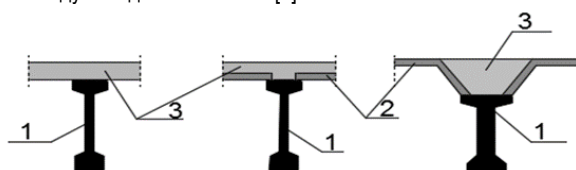


Рисунок 1 – Примеры композитных элементов [9]

Слой монолитного бетона укладывают обычно при возведении перекрытия в условиях строительной площадки для заполнения пространства между бетонными элементами, изготовленными ранее (например, соединения плит пустотного настила), или во время проведения работ по усилению существующих конструкций. В промышленном строительстве этот тип композитной конструкции чаще всего используется в качестве элементов перекрытия. Это могут быть железобетонные или предварительно напряженные сборные элементы, объединенные дополнительным монолитным бетоном (рис. 2).

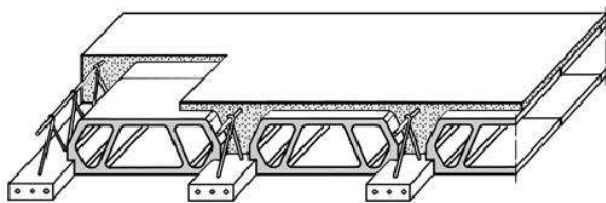


Рисунок 2 – Пример ребристого перекрытия [15]

Часто комбинация двух бетонов используется в мостостроении. Воздействие агрессивной среды, атмосферных условий и динамических нагрузок вызывает ускорение процесса коррозии мостовых конструкций. В результате происходит потеря прочности бетона в конструкции, что угрожает безопасности её использования. При проведении ремонтов и усиления дефекты должны быть устранены, например, с помощью устройства слоя из нового бетона, соединенного со старым, путем бетонирования или торкретирования. При этом важно правильно подготовить поверхность старого бетона. В первую очередь нужно выполнить удаление поврежденного слоя старого бетона требуемую глубину. Поверхность должна иметь неповрежденную структуру и быть шероховатой. После удаления поврежденного бетона необходимо использовать специальные крепежные элементы, чтобы обеспечить надлежащее взаимодействие нового и старого бетонов [16].

Практически взаимодействие двух слоев бетона определяется их взаимной связью, так называемой адгезией. Различают:

- механическую адгезию, то есть зацепление соединяемых элементов в результате отверждения цементного теста бетона как клеяющего материала, а также из-за шероховатости поверхности элементов;
- физическую адгезию - электростатические явления, поглощение, диффузия [14].

Мера адгезии (адгезия) – это сила, разделяющая материалы, которые соприкасаются между собой. Адгезия двух слоев бетона должна иметь достаточную контактную прочность сцепления. Контактная прочность сцепления в основном сравнивается с прочностью бетона на растяжение. Исследование плоскости контакта двух бетонов обусловлено принятием модели испытательного образца. В экспериментальных исследованиях определяют, главным образом, прочность на сдвиг, сдвиг при сжатии, кручении, испытание на чистый отрыв (испытание на адгезию) [14].

Работа контакта напрямую определяется его деформацией. Деформация контакта, возникающая из-за приложенных нагрузок, представляет собой взаимное смещение соединяемых элементов. Существующие характеристики контакта между двумя слоями бетона должны быть включены в расчет внутренних сил в этом типе композитных конструкций. Например, согласно теории сэндвич-конструкций, контакты различаются благодаря их восприимчивости. В железобетонных конструкциях контакты считаются восприимчивыми, в то время как в композитных железобетонных конструкциях предполагается, что они не восприимчивы.

При жестких соединениях по контакту отсутствует взаимное смещение контактных слоев. Жесткие (неподатливые) соединения также вызывают однородные деформации примыкающих или контактирующих волокон, что обеспечивает полное взаимодействие соединяемых элементов. В свете исследований, проведенных на плоскости соединения двух слоев бетона („нового“ со „старым“), можно констатировать, что увеличение контактного сопротивления пропорционально увеличению прочности нового бетона. Наиболее

интенсивный набор прочности контакта между слоями бетонов проявляется в первые 7 дней твердения. Таким образом, большее влияние здесь имеет правильная (специфическая) адгезия. В этом случае несущая способность зависит от возраста „нового“ бетона. Чем она меньше, тем больше сопротивление плоскости контакта „старого“ бетона с добавлением к нему „нового“ бетона [14].

2. Экспериментальные исследования

2.1. Рецепт бетонных смесей "mix1" и "mix2"

Рецептура бетонных смесей была подготовлена в соответствии с PN-EN 206-1. Для производства бетона с дисперсным волокном использовался цемент СЕМ I 52,5 HSR, высушенный кварцевый песок с размером зерен 0,2–0,8 мм в соответствии с требованиями PN-EN 12620: 2008, химически активный порошок (микрокремнезем), стальные волокна длиной 15 мм и диаметром 0,2 мм, полипропиленовые волокна длиной 50 мм, суперпластификатор, вода для смешивания в соответствии с PN-EN 1008. Водо-вяжущее отношение составляло 0,24. Стальные и полипропиленовые волокна были использованы в количестве 1% по массе бетонной смеси.

2.2. Рецепт реферативной бетонной смеси "ref"

Для производства бетона, соответствующего по прочности на сжатие классу C20/25 использовали цемент СЕМ I 42,5R, мелкий заполнитель, песок природного происхождения с размером зерен 0–2 мм, гравий фракции 2–8 мм.

Пластификатор был принят в соответствии с PN-EN 1008. Массовое соотношение составляло 0,7. Рецепт был подготовлен в соответствии с PN-EN 206-1.

2.3. Подготовка бетонных образцов кубического, цилиндрического, призмного типа к испытаниям на прочность использованного бетона

2.3.1. Требования к опытным образцам согласно PN-EN 12390-1: 2001 [12]

Общие положения, касающиеся формы, размера и допуска образцов для испытаний на прочность, показывают: для каждой формы образца рекомендуется, чтобы базовый размер (d) был как минимум в три с половиной раза больше номинального размера зерна заполнителя в бетоне [12]. Допускается использование кубических образцов с размером d = 10 см при условии, что совокупный размер зерна заполнителя не превышает 16 мм.

Для проведения испытаний были проведены:

- образцы в форме куба 100x100x100 мм;
- образцы в форме цилиндра 150x300 мм;
- образцы в форме призм 100x100x400 мм.

2.3.2. Изготовление образцов в соответствии с PN-EN 1290-2:2001 [12]

Изготовление образцов для испытаний на прочность было основано на европейском стандарте PN-EN 1290-2: 2001, который определяет методы изготовления и ухода за образцами для испытаний бетона на прочность [12].

2.3.3. Армирование

В качестве армирования использовали стальные стержни диаметром 8 мм B500SP (сетки с ячейкой 70x70 мм), со средней прочностью 550 МПа и модулем упругости 191,85 ГПа.

3. Анализ результатов экспериментальных исследований

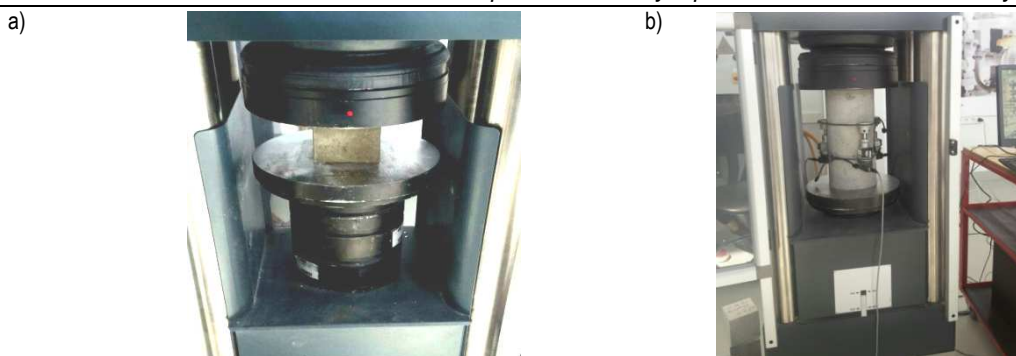
3.1. Образцы для испытаний [10], [11], [12], [13]

Для проведения испытаний на прочность были изготовлены образцы в форме куба 100x100x100 мм, цилиндрические размером 150x300 мм и бетонные призмы 100x100x400 мм для трех серий испытаний в зависимости от используемого бетона. Испытательные стенды показаны на рисунках 3а и 3б.

При проведении испытаний на прочность были получены следующие характеристики разработанного бетона, показанные в таблице 1.

3.2. Подготовка опытных образцов-плит

Железобетонные сборно-монолитные (слоистые) плиты составляли основные элементы исследования. Размеры плиты показаны на рисунке 4.



а) прочность на сжатие, б) модуль упругости

Рисунок 3 – Вид испытательного стенда для испытания прочности бетона

Таблица 1 – Состав бетона и его механические характеристики

Разработанный бетон	Свойства бетонной смеси на 1 м3			Модуль упругости E_{cm} [MPa]	Средняя прочность бетона			
	в/ц	ц/з(ц/м		$f_{cm,cube}$ [MPa]	f_{ctm} [MPa]	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
							$f_{cm,cube}/f_{ctm}$	$f_{cm,cube}/f_{ctm}$
FRC	0,24	1,25	0,30	33180	59,3	2,63	6,2(0,17)	10%(6%)
PRC	0,24	1,25	0,30	32760	48,3	2,85	2,7(0,05)	6%(2%)
N	0,71	7,17	-	30060	36,3	2,23	1,4(0,03)	4%(1%)

Примечание: в/ц – водоцементное отношение; ц/а – отношение цемент-заполнитель; ц/м – отношение цемент-микрокремнезем.

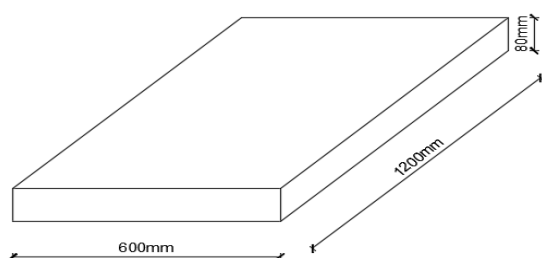


Рисунок 4 – Размеры модели плиты

Нижний слой плиты (толщиной 5 см) представлял собой обычный бетон, а верхний слой (толщиной 3 см) – фибробетон. Два бетона разных классов и составов соединились "мокрым способом" (последовательная укладка очередных слоев). Из-за недостаточного объема роторной мешалки нижний слой плиты был выполнен в два этапа. Кроме того, в качестве контрольного элемента была сделана плита из обычного бетона.

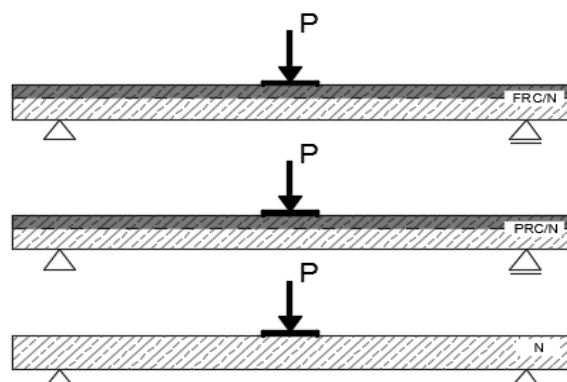
Армирование было выбрано в соответствии с требованиями PN-EN-1992-1-1. Максимальный шаг был принят следующим s_{max} :

- основное армирование: не более 24 см и не более 40 см – армирование Ø8 мм с шагом 70 мм;
- дополнительное (конструктивное) армирование: не более 28 см и не более 45 см - армирование Ø8 мм с шагом 70 мм.

4. Экспериментальные исследования

Испытания выполняли на плитах со слоем фибробетона в сжатой зоне сечения, а также на плитах, выполненных целиком из обычного бетона. В слоистых плитах размером 600x1200x80 мм нижний слой (толщиной 5 см) представлял собой обычный бетон, а верхний слой (толщиной 3 см) – фибробетон с добавлением стальных или полипропиленовых волокон. Кроме того, в качестве контрольного элемента была сделана плита из обычного бетона.

Слоистые плиты были помещены в испытательную машину типа Controls, в которой они были загружены локально с осевым усилием, передаваемым через центрально установленную стальную пластину размером 120x120 мм. Для измерения перемещений во время испытаний в центре плиты и на опорах были установлены индуктивные датчики. На рис. 5 показан способ нагружения плит на испытательном стенде.



FRC / N - композитные плиты из железобетона, PRC/N - композитные плиты с полипропиленом, N - железобетонные плиты

Рисунок 5 – Схема испытанных элементов плит

4.1. Прогобы

Элементы плит загружались монотонно равными этапами равными 5 кН. Прогобы были измерены на каждом этапе нагружения. Величины прогибов и соответствующих нагрузок регистрировали с помощью компьютерного комплекса. График зависимости «нагрузка-прогиб», полученный в процессе испытаний, показан на рис. 6.

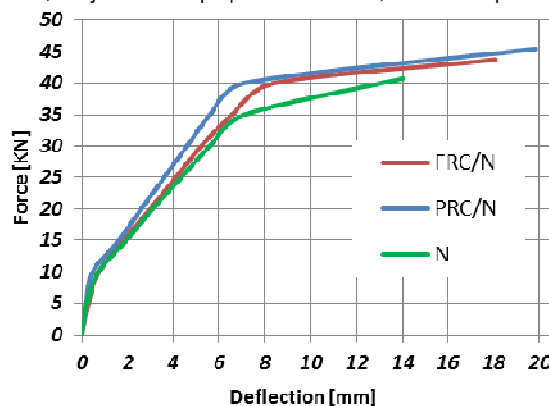


Рисунок 6 – Графики зависимости средних значений прогиба в центре плиты от величины нагрузки

Наименьшую величину несущей способности отличала сплошная железобетонная плита без слоя фибробетона (N). Ее несущая способность соответствовала предельному усилию 40,71 кН. Первая трещина нормального отрыва наблюдалась при нагрузке около 10 кН. На рисунке 6 показано, что диапазон прогибов сплошной железобетонной модели плиты намного меньше, чем диапазон прогибов моделей составных плит, несмотря на то, что отдельные значения прогибов для соответствующих характерных уровней нагружения отличаются не столь существенно. После того, как трещина нормального отрыва пересекала полностью по высоте весь нижний слой из обычного бетона, было замечено, что происходило торможение трещины на границе контакта слоев по мере приложения нагрузки и прогибы росли медленнее, по сравнению с железобетонной плитой. Обоснованием этого процесса может быть тот факт, что в случае фибробетона волокна постепенно вытягиваются из бетонной матрицы в трещине, что увеличивает вязкость разрушения.

4.2. Трещины

На рисунке 7 представлены характерные картины развития трещин испытанных элементов плит, которые были проиллюстрированы на основе фотографической документации, сделанной в ходе экспериментальных исследований.

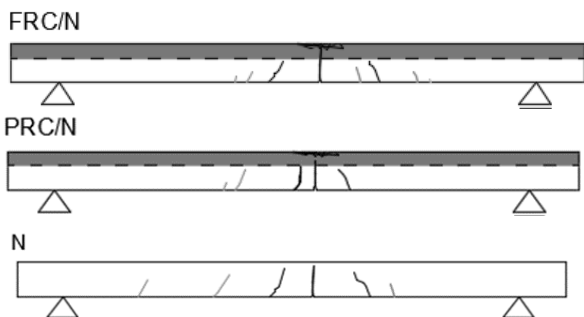


Рисунок 7 – Схема развития трещины на заключительном этапе испытания плит

В слоистых плитах развитие трещин происходило по всей ширине плиты, в то время как только первая из образовавшихся трещин имела тенденцию увеличивать ширину раскрытия по мере увеличения приложенных нагрузок. В случае эталонных плит из обычного бетона развитие и ширина трещин были более выразительными.

5. Расчетная модель для определения несущей способности композитной (слоистой) плиты

Для анализа результатов испытаний была предложена расчетная модель, основанная на кинематическом подходе. В рамках данной модели из условия равенства работ можно записать:

$$W_F = W_R, \tag{5.1}$$

где W_F – работа нагрузки на перемещение (см. рисунок 8);

W_R – работа (потенциальная энергия) сопротивления плиты.

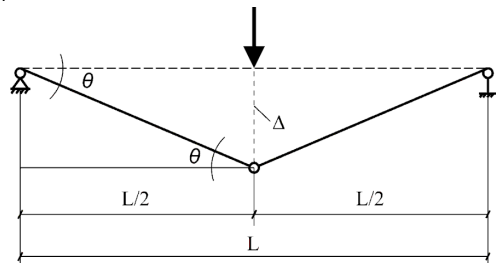


Рисунок 8 – К определению работы нагрузки на перемещение

Из равенства работ (5.1) можно записать:

$$F_d \cdot \Delta = m_{Rd} \cdot \theta, \tag{5.2}$$

где F_d – расчетная сосредоточенная сила, приложенная в пролете;

Δ – перемещение плиты в точке приложения силы;

m_{Rd} – расчетное сопротивление плиты при изгибе;

θ – угол поворота плиты в пластическом шарнире.

Учитывая, что $tg\theta = 2\Delta / L$, и ввиду малости угла поворота $tg\theta \approx \theta$ уравнение (5.2) имеет вид:

$$F_d \cdot \Delta = m_{Rd} \cdot \frac{2\Delta}{L}$$

или

$$F_d = \frac{2 \cdot m_{Rd}}{L}$$

Таким образом, для нахождения расчетного усилия при заданных параметрах и армировании сечения плиты необходимо записать момент m_{Rd} (сопротивление изгибу для составного сечения).

Сопротивление изгибу составного сечения

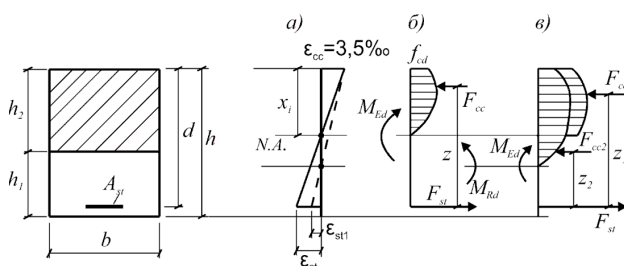


Рисунок 9 – Схема усилий, действующих в составном сечении

На рисунке 9 показан общий случай расчета сопротивления сечения в зависимости от положения нейтральной оси в сечении (для среднего сечения расслоение не происходит и кривизны совпадают). При этом рекомендуется рассматривать:

– случай 1: $x < h_2$ – нейтральная ось находится в слое фибробетона, и все характеристики следует принимать по таблице 1 как для фибробетона (рис. 9а);

– случай 2 – нейтральная ось находится в обычном бетоне. К расчету принимают составную эпюру сжимающих напряжений в сжатой зоне сечения. На высоте h_2 принимают характеристики фибробетона, а части сечения h_1 – монолитного обычного бетона (рис. 9б).

Для упрощения расчета при реализации случая 2 в сжатой зоне может быть принята упрощенная билинейная эпюра напряжений согласно EN 1992-1-1 (см. рисунок 10).

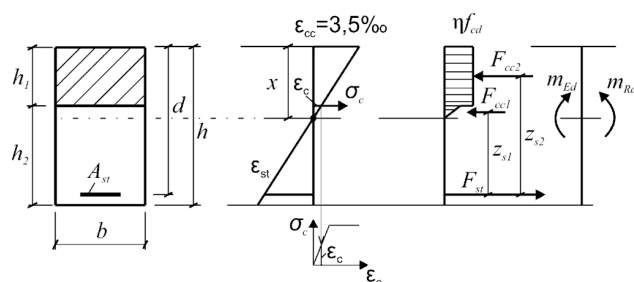


Рисунок 10 – Определение сопротивления слоистого сечения по упрощенной модели (билинейная диаграмма для обычного бетона)

Для случая 1:

$$m_{Rd} = F_{cc2} \cdot z_s = \eta \cdot f_{cd} \cdot z_s \cdot b \cdot x$$

Для случая 2:

$$m_{Rd} = F_{cc2} \cdot z_{s2} + F_{cc1} \cdot z_{s1} = \eta \cdot f_{cd} \cdot h_2 \cdot b \cdot (d - \frac{h_2}{2}) + \sigma_{cc} \cdot \frac{1}{2} \cdot (x - h_2) \cdot z_{s1}$$

Тогда получаем:

– для случая 1:

$$2\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot (d - 0,5x) = F_d \cdot L;$$

– для случая 2:

$$2 \left[\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_2 \cdot (d - 0,5h_2) + \sigma_{cc} \frac{1}{2} (x - h_2) \cdot z_{s2} \right] = F_d \cdot L.$$

$$\text{Отсюда: } F_d = \frac{2\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot (d - 0,5x)}{L}$$

$$F_d = \frac{2 \left[\eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_2 \cdot (d - 0,5h_2) + \sigma_{cc} \frac{1}{2} (x - h_2) \cdot z_{s2} \right]}{L}.$$

Высоту сжатой зоны x для слоистого сечения находят, пользуясь обычной итерационной процедурой, давая очередные значения x_i и

проверяя равенство $\sum_{i=1}^n F_{cci} = F_{st}$ для слоистой конструкции.

Для проведенных опытов: $h_1 = 50$ мм; $h_2 = 30$ мм.

Армирование $\varnothing 8S500$ с шагом 130 мм ($4\varnothing 8$, $A_{st} = 201$ мм²).

Средняя прочность бетона $f_{cmN} = 36,3$ МПа (серия N), $f_{cmFRC} = 54,3$ МПа (для сталефибробетона) и $f_{cmPRC} = 48,3$ МПа (для полипропиленовой фибры).

Принимаем начальное значение $x_1 = h_2 = 10$ мм.

Для прямоугольной эпюры напряжений $\eta = 1$ (кратковременные испытания). Распределение относительных деформаций показано на рисунке 10 ($\epsilon_{cu} = 3,5\%$ принято равным для обычного и фибробетона).

Сравнение опытных предельных сосредоточенных сил и результатов расчета по предложенной методике приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение результатов расчета и опытных предельных усилий

Обозначение плит	Расчетная высота сжатой зоны, x_i , мм	Предельное усилие F_{ult} , кН	
		опыт	расчет
FRC/N	4,03	45,2	46,7
PRC/N	16,0	44,7	45,3
N	18,0	40,71	42,1

Как видно из сравнения, приведенного в таблице 2, расчетные значения предельных усилий, полученные по приведенной методике, несколько превышают (до 5%) значения опытных разрушающих нагрузок. Это связано, с одной стороны, неопределенностями опытных данных при принятой схеме нагружения, а с другой – упрощениями, установленными допущениями расчетной модели сопротивления.

Заключение и выводы

На основании результатов экспериментальных испытаний было установлено, что слоистые плиты имеют более высокую несущую способность по сравнению с плитами без усиленной сжатой зоны сечения. Композитные плиты серии PRC / N показали увеличение несущей способности на 10% по сравнению с эталонными плитами серии N. В случае композитных плит серии FRC/N наблюдали повышение прочности на 8%.

В композитных плитах развитие трещин распространялось на всю их ширину сечения плиты. Первая трещина, образовавшаяся при нагрузке 10 кН, имела тенденцию к увеличению ширины раскрытия при увеличении приложенных нагрузок. В случае эталонных панелей из обычного бетона развитие и ширина трещин были более выразительными.

Предложенная расчетная модель позволяет производить расчет слоистых плит при различных граничных условиях на контуре.

Список цитированных источников

- Jasiczak, J. Технология бетона, модифицированного примесями и добавками / J. Jasiczak, P. Mikolajczak. – Познань : Познанская Политехника, 2003.
- Voilokov, I. Fibre-reinforced concrete – background, normative base (problems and solutions) // ALITinform международное аналитическое обозрение. – 2011. – № 2. – С. 34–43.
- Jasiczak, J. Бетоны сверхвысокой производительности / J. Jasiczak, A. Wdowska, T. Rudnicki // Ассоциация производителей цемента. – Kraków, 2008.
- Domański, T. Влияние дисперсной арматуры на механические параметры бетона / T. Domański, A. Czkwianianc // Строительный обзор. – 2016. – R. 77. – № 6. – С. 32–36.

- Glinicki, A. Бетон со структурным армированием // XXV Национальные мастерские работы дизайнера конструкций, Szczyrk 10-13 марта 2010.
- Zych, T. Современный фибробетон - возможность формирования конструктивных элементов и архитектурных форм // Технический журнал. Архитектура. – 2017. – R. 107. – Z. 8-A. – С. 371–386.
- Glinicki, A. Оценка и проектирование фибробетона на основе эквивалентной прочности // Дороги и мосты. – 2016. – № 3. – С. 5–36.
- Grzeszczyk, S. Бетоны нового поколения из реактивных порошков // Вестник Военно-технической академии. – 2016. – Vol. 64, nr 3. – С. 103–111.
- Król, M. Композитные конструкции с обычным и экспансивным бетоном / M. Król, A. Halicka, W. Tur. – Люблин : Издательство Люблинского технологического университета, 1997.
- Neville, A. M. Бетонные свойства. Польский цемент // Sp. z. o. o., Kraków, 2019.
- Бетонные испытания. Форма, размеры и другие требования к образцам и формам для испытаний : PN-EN 12390-1. – Warszawa : PKN, 2001.
- Бетонные испытания. Прочность образцов на сжатие : PN-EN 12390-3. – Warszawa : PKN, 2001.
- Бетонные испытания. Прочность на изгиб испытательных образцов : PN-EN 12390-5. – Warszawa : PKN, 2001.
- Franczak, D. Wpływ wieku betonu na nośność styku w elementach zespolonych typu „beton-beton” / D. Franczak, A. Halicka // Przegląd Budowlany. – R. 83. – № 1. – P. 46–51.
- [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.mabudo.com/oferta.php?id_typ=26&typ=2.
- [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.muratorplus.pl/technika/konstrukcje/technologie-rekonstrukcji-betonu-w-budownictwie-mostowym_57075.html.

References

- Jasiczak, J. Technology of concrete modified with impurities and additives / J. Jasiczak, P. Mikolajczak. – Poznan : Poznanskaya Politekhnik, 2003.
- Voilokov, I. Fibre-reinforced concrete – background, normative base (problems and solutions) // ALITinform mezhduna-rodnoe analiticheskoe obozrenie. – № 2. – P. 34–43.
- Jasiczak J. Concrete of ultrahigh productivity / J. Jasiczak, A. Wdowska, T. Rudnicki // Association of producers of cement. – Kraków, 2008.
- Domański, T. Influence of dispersed reinforcement on mechanical parameters of concrete / T. Domański, A. Czkwianianc // Construction review. – R. 77. – Nr 6. – P. 32–36.
- Glinicki, A. Concrete with structural reinforcement // XXV National Design Designer Workshops, Szczyrk 10-13 marca 2010.
- Zych, T. Modern fibrobeton - possibility to form structural elements and architectural forms // Technical journal. Architecture. – R. 107. – Z. 8-A. – P. 371–386.
- Glinicki, A. Evaluation and design of fibrobetone based on equivalent strength // Roads and bridges. – № 3. – P. 5–36.
- Grzeszczyk, S. Next Generation Jet Powder Concrete // Bulletin of Military and technical academy. – Vol. 64. – Nr 3. – P. 103–111.
- Król M. Composite structures with conventional and expansive concrete / M. Król, A. Halicka, W. Tur. – Lublin : Publishing House of Lublin University of Technology, 1997.
- Neville, A. M. Concrete properties. Polish cement // Sp. z. o. o., Kraków.
- Concrete tests. Shape, dimensions and other requirements for samples and test forms : PN-EN 12390-1. – Warszawa : PKN, 2001.
- Concrete tests. Compression strength of samples : PN-EN 12390-3. – Warszawa : PKN, 2001.
- Concrete tests. Bending strength of test pieces : PN-EN 12390-5. – Warszawa : PKN, 2001.
- Franczak, D. Wpływ wieku betonu na nośność styku w elementach zespolonych typu „beton-beton” / D. Franczak, A. Halicka // Przegląd Budowlany. – R. 83. – № 1. – P. 46–51.
- [Electronic Resource] - Access Mode : http://www.mabudo.com/oferta.php?id_typ=26&typ=2.
- [Electronic Resource] - Access Mode : http://www.muratorplus.pl/technika/konstrukcje/technologie-rekonstrukcji-betonu-w-budownictwie-mostowym_57075.html.

Материал поступил в редакцию 14.12.2019